



The effect of seed priming with growth regulators and foliar spraying of zinc and magnesium nanoparticles on the growth and performance of the medicinal plant (*Catharanthus roseus* (L.) G.DON) under drought stress conditions

Babak Sepehri¹ | Hamid Reza Tohidi Moghadam^{2✉} | Farshad Ghooshchi³ | Meysam Oveysi⁴ | Pourang Kasraie⁵

1. Department of Agronomy, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran. E-mail:

sepehri@iauvaramin.ac.ir

2. Corresponding Author, Department of Agronomy, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran. E-mail: tohidi@iauvaramin.ac.ir

3. Department of Agronomy, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran. E-mail:

ghooshchi@iauvaramin.ac.ir

4. Department of Agronomy, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran. E-mail:

oveysi@iauvaramin.ac.ir

5. Department of Agronomy, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran. E-mail:

kasraie@iauvaramin.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	This study was conducted to investigate the effect of priming growth regulators auxin, gibberellin, and cytokinin (each at a concentration of 50 ppm) and spraying zinc nanoparticles, magnesium, under drought stress conditions (at three levels of 40, 60, and 80 mm from the evaporation pan) on the fresh and dry weight of aerial parts, the number of lateral branches containing alkaloids, RWC, plant height and stem diameter of the medicinal plant Periwinkle (<i>Catharanthus roseus</i> (L.) G.DON) as a factorial and completely randomized design over two years (1399 and 1400) was carried out in the form of pots in the bahonar camp of Tehran. The results showed that the main effects of seed priming with growth regulators, foliar spraying and drought stress on all the mentioned traits had a significant effect at the probability level of %1. The mutual effects of seed priming with growth regulators and drought stress showed a statistical difference of %1 compared to the control treatment, except for shoot fresh weight and plant height. In the investigation of the double interaction of drought stress and nanoparticles, as well as the mutual effects of growth regulators and nanoparticles on the dry weight of aerial parts at the probability level of %5 and on RWC at the probability level of %1, a difference was observed compared to the control treatment. Also, in the triple interaction of drought stress, growth regulators, and foliar application of nanoparticles and drought stress on shoot dry weight and relative water content, a significant difference was observed at the %1 probability level compared to the control treatment, and there was no significant difference in other traits. The highest dry weight of aerial parts was obtained under optimal irrigation conditions and under the influence of gibberellic acid hormone and the simultaneous consumption of zinc and magnesium elements (63 grams per plant), and severe stress treatment, auxin hormone and the combination of zinc and magnesium had the greatest effect on the relative water content of leaves with %51. Finally, drought stress caused a significant difference in all studied indicators compared to the control treatment. Among hormones, the role of gibberellin hormone and among nanoparticles the role of zinc.
Article history:	
Received: Jan. 23, 2025	
Revised: Feb. 14, 2025	
Accepted: Feb. 23, 2025	
Published online: June, 2025	
Keywords: Auxin, Cytokinin Gibberellin, Magnesium.	
Cite this article: Sepehri, B., Tohidi Moghadam, H.R., Ghooshchi, F., Oveysi, M. & Kasraie, P. (2025) The effect of seed priming with growth regulators and foliar spraying of zinc and magnesium nanoparticles on the growth and performance of the medicinal plant (<i>Catharanthus roseus</i> (L.) G.DON) under drought stress conditions. <i>Iranian Journal of Soil and Water Research</i> , 56 (4), 995-1010. https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.389239.669869	
© The Author(s). Publisher: The University of Tehran Press.	
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.389239.669869	



EXTENDED ABSTRACT

Introduction:

Perwinkle medicinal plant with the scientific name (*Catharanthus roseus*) is considered one of the most important medicinal plants in the world due to the presence of valuable alkaloids in its vegetative body. This plant has vinblastine and vincristine alkaloids in the leaves, which are used in the treatment of various types of cancer, and the root of the plant also contains ajmalysin, which is effective in the treatment of low blood pressure. This plant belongs to the Apocynaceae family. This plant has vinblastine and vincristine alkaloids in the leaves and ajmalysin in the roots.

Methods:

This study was conducted to investigate the effect of priming growth regulators auxin, gibberellin, and cytokinin (each at a concentration of 50 ppm) and spraying zinc (1mg) nanoparticles, magnesium (0/5mg), and a mixture of zinc and magnesium (0.5 and 0.25 mg respectively) under drought stress conditions from an evaporation pan (at three levels of 40, 60, and 80 mm) on the fresh and dry weight of aerial parts, the number of lateral branches containing alkaloids, RWC, the height and stem diameter of the medicinal plant Perwinkle as a factorial and completely randomized design over two years (1399 and 1400) was carried out in the form of pots in the Bahnar camp of Tehran. Statistical calculations of the data using SAS statistical software (version 9.1), and Bartlett's test was used to check the uniformity of the variance of the data of the two years of the experiment. Also, to compare the averages, Duncan's multi-range test was used and graphs were drawn using Excel software.

Results

The results showed that the main effects of seed priming with growth regulators, foliar spraying and drought stress on all the mentioned traits had a significant effect at the probability level of %1. The mutual effects of seed priming with growth regulators and drought stress showed a statistical difference of %1 compared to the control treatment, except for shoot fresh weight and plant height. In the investigation of the double interaction of drought stress and nanoparticles, as well as the mutual effects of growth regulators and nanoparticles on the dry weight of aerial parts at the probability level of %5 and on RWC at the probability level of %1, a difference was observed compared to the control treatment. Also, in the triple interaction of drought stress, growth regulators, and foliar application of nanoparticles and drought stress on shoot dry weight and relative water content, a significant difference was observed at the %1 probability level compared to the control treatment, and there was no significant difference in other traits. The highest dry weight of aerial parts was obtained under optimal irrigation conditions and under the influence of gibberellic acid hormone and the simultaneous consumption of zinc and magnesium elements (63 grams per plant), and severe stress treatment, auxin hormone and the combination of zinc and magnesium had the greatest effect on the relative water content of leaves with %51.

Finally, drought stress caused a significant difference in all studied indicators compared to the control treatment. Among hormones, the role of gibberellin hormone and among nanoparticles the role of zinc

Author Contributions

Conceptualization, HR.TM. First instructor, Research topic design, project administration. B.S. conducted the experiment, writing-review and editing. F. Gh. data curation, determination of treatments, measurements. M.O. methodology. P.K. collaborated on the research as consultants. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript. All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank the reviewers and editor for their critical comments that helped to improve the paper. Also, thanks to all those who played a role in the implementation of this plan.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

اثر پرایمینگ بذر با تنظیم‌کننده‌های رشد و محلول‌پاشی نانوذرات روی و منیزیم بر رشد و عملکرد گیاه دارویی پروانش (*Catharanthus roseus* (L.) G.DON) در شرایط تنش خشکی

بابک سپهری^۱، حمیدرضا توحیدی مقدم^۲، فرشاد قوشچی^۳، میثم اویسی^۴، پورنگ کسرایی^۵

۱. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین (پیشوا)، ورامین، ایران، رایانامه: babak5464@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین (پیشوا)، ورامین، ایران، رایانامه: dr_tohidi22@yahoo.com

۳. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین (پیشوا)، ورامین، ایران، رایانامه: ghooshchi@yahoo.com

۴. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین (پیشوا)، ورامین، ایران، رایانامه: meysam_oveysi@yahoo.com

۵. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین (پیشوا)، ورامین، ایران، رایانامه: drkasraie@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	این تحقیق به منظور بررسی اثر پرایمینگ بذر با تنظیم‌کننده‌های رشد اکسین، جیبرلین و سیتوکینین و محلول‌پاشی نانوذرات روی و منیزیم در شرایط تنش خشکی (در سه سطح ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) بر وزن تر و خشک اندام هوایی، تعداد شاخه‌های جانبی حاوی آلکالوئید، محتوای رطوبت نسبی برگ، ارتفاع بوته و قطر ساقه گیاه دارویی پروانش (<i>Catharanthus roseus</i> (L.) G.DON) به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی طی دو سال (۱۳۹۹ و ۱۴۰۰) به صورت گلدانی انجام شد. نتایج نشان داد که اثرات اصلی پرایمینگ بذر با تنظیم‌کننده‌های رشد، محلول‌پاشی و تنش خشکی بر کلیه صفات مذکور اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند. اثرات متقابل پرایمینگ بذر با تنظیم‌کننده‌های رشد و تنش خشکی به غیر از وزن تر اندام هوایی و ارتفاع ساقه بر سایر صفات اختلاف آماری ۱٪ نسبت به تیمار شاهد نشان داد. در بررسی برهمکنش دوگانه تنش خشکی و نانوذرات و نیز اثرات متقابل تنظیم‌کننده‌های رشد و نانوذرات بر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال پنج درصد و بر محتوای آب نسبی در سطح احتمال یک درصد نسبت به تیمار شاهد تفاوت مشاهده شد. همچنین در برهمکنش سه گانه تنش خشکی، تنظیم‌کننده‌های رشد و محلول‌پاشی نانوذرات و تنش خشکی بر وزن خشک اندام هوایی و محتوای آب نسبی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد و در سایر صفات اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بیشترین وزن خشک اندام هوایی در شرایط مطلوب آبیاری و تحت تأثیر هورمون اسید جیبرلین و مصرف همزمان عناصر روی و منیزیم (۶۳ گرم در بوته) بدست آمد و تیمار تنش شدید، هورمون اکسین و ترکیب روی و منیزیم با ۵۱٪ بیشترین تأثیر را بر محتوای آب نسبی برگ داشت. در نهایت، تنش خشکی باعث اختلاف معنی‌دار کلیه شاخص‌های مورد مطالعه نسبت به تیمار شاهد شد. در میان هورمون‌ها نقش هورمون جیبرلین و در میان نانوذرات نقش ترکیب روی و منیزیم بیشتر از سایر تیمارها بود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۴	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۲۶	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۵	
تاریخ انتشار: تیر ۱۴۰۴	
واژه‌های کلیدی: اکسین، جیبرلین، روی، سیتوکینین، منیزیم.	

استناد: سپهری، بابک، توحیدی مقدم، حمیدرضا، قوشچی، فرشاد، اویسی، میثم، کسرایی، پورنگ، (۱۴۰۴) اثر پرایمینگ بذر با تنظیم‌کننده‌های رشد و محلول‌پاشی نانوذرات روی و منیزیم بر رشد و عملکرد گیاه دارویی پروانش (*Catharanthus roseus* (L.) G.DON) در شرایط تنش خشکی، *مجله تحقیقات آب و خاک*



ایران، ۵۶ (۴)، ۹۹۵-۱۰۱۰. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.389239.669869>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.389239.669869>

مقدمه

با توجه به شناخت هرچه بیشتر خواص درمانی و مواد مؤثر موجود در گیاهان دارویی، با گذشت زمان اسرار و رموز بیشتری در خصوص این گیاهان کشف می‌گردد. اقتصادی بودن و مقرون به صرفه بودن گیاهان دارویی یکی از دلایل مهم گرایش جهانی به گیاهان دارویی است. بروز عوارض جانبی ناشی از مصرف داروهای شیمیایی و مقرون به صرفه نبودن ساخت برخی از داروهای شیمیایی که تولید اینگونه داروها در مقایسه با استخراج گیاهان دارویی بسیار هزینه‌بر و غیر اقتصادی است و همچنین انحصاری بودن درمان برخی بیماری‌ها با گیاهان دارویی و وجود تجارب بالینی ارزشمند در گیاهان دارویی از دیگر دلایل گرایش جهانی به این داروهاست. معمولاً در تولید دارو مراحل طولانی و پیچیده‌ای وجود دارد که آخرین مرحله انجام آزمایشات بالینی بر روی انسان است. مرحله‌ای که معمولاً با محدودیت‌های متعددی روبه‌رو است اما درباره‌ی گیاهان دارویی این مرحله در کشورهایی مانند ایران، چین و هند در افراد مختلف، غلظت‌های مختلف دارو و مکان‌های مختلف به دفعات مورد آزمون قرار گرفته و به عبارت دیگر در بسیاری از موارد این مرحله‌ی پایانی قبل از مرحله‌ی دیگر انجام شده است (سپهری و همکاران، ۱۳۹۱).

یکی از عمده‌ترین گیاهان دارویی - زینتی که امروزه به عنوان گیاه دارویی در جهان مورد توجه قرار گرفته، گیاه دارویی پروانش (پربوش) است، که با نام علمی کاتارانتوس رزیوس^۱ شناخته می‌شود (Farouk et al., 2022). استفاده از پروانش در اروپا به ۵۰ سال قبل از میلاد مسیح باز می‌گردد. در آن زمان، عوام از این گیاه برای جلوگیری از خونریزی‌ها، درمان زخم‌ها و دندان درد استفاده می‌کردند. مردم هند به عنوان ماده‌ی کاهش دهنده‌ی قند خون از آن بهره می‌بردند (امیدیگی، ۱۳۸۸). این گیاه که به تیره خرزهره^۲ تعلق دارد، نخستین بار توسط جرج دان نامگذاری شد (Mekky et al., 2018). پروانش از رده دولپه‌ای‌ها، زیر رده‌ی پیوسته گلبرگ‌ها، راسته‌ی ژنتیانالز، تیره خرزهره و جنس کاتارانتوس است. پروانش گیاهی بوته‌ای و چندساله است که در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری ارتفاع آن به ۱۲۰-۳۰ سانتی‌متر می‌رسد. البته در مناطق سردسیری به صورت یک‌ساله کشت می‌شود. منشأ این گیاه مناطق حاره و گرمسیری مانند جنوب هند، اندونزی و جزیره ماداگاسکار گزارش شده است (Nejat et al., 2015). پراکنش گیاه پروانش در کشورمان در نقاط مختلف از جمله خوزستان، بوشهر و هرمزگان پرورش می‌یابد (سپهری و همکاران، ۱۳۹۱). پروانش دارای سه واریته است که شامل آلبا با گل‌های سفید، رزیوس با گل‌های صورتی و آسیلاتا با گل‌های سفید و صورتی که وسط آن لکه‌های ارغوانی مشاهده می‌شود که این سه واریته از بارزترین واریته‌های تجاری محسوب می‌شوند (امیدیگی، ۱۳۸۸).

به علت وجود آلکالوئیدهای ارزشمند در پیکر رویشی و ریشه پروانش، در اکثر فارماکوپه‌ها به عنوان یک گیاه دارویی بسیار مهم معرفی شده است (Salem et al., 2022). مهم‌ترین آلکالوئیدهای این گیاه که در برگ‌ها ساخته و ذخیره می‌شوند، آلکالوئیدهای وین‌بلاستین و وین‌کریستین هستند که هردوی آن‌ها اثر آنتی‌نیوپلازی (ضد تومور) دارند. این مواد در شیمی‌درمانی برخی سرطان‌ها نیز به کار می‌روند. آلکالوئید مهم دیگری نیز که در ریشه وجود دارد روباسین (آجمالاسین) نامیده می‌شود که اثر آنتی‌فیبرلیک داشته و سبب افزایش فشارخون می‌گردد (Abdul jaleel et al., 2007). ارزش هر ۲ کیلوگرم آلکالوئید وین‌کریستین و وین‌بلاستین که هر دو اثر ضد سرطان دارند و آلکالوئید آجمالاسین که اثر آنتی‌فیبریک دارد، به ترتیب ۱ و ۳/۵ میلیون دلار در سال ۱۹۸۹ گزارش شده است (امیدیگی، ۱۳۸۸). کل حجم آلکالوئیدهای خالص گیاه پروانش حدود ۱-۰/۵ درصد وزن خشک گیاه است. از طرفی شرایط محیطی نامناسب مانند شوری و خشکی و شرایط محیطی مناسب مانند کوددهی، آبیاری، زمان برداشت و غیره می‌توانند تأثیر زیادی در تولید آلکالوئیدها داشته باشند (Lata, 2007). با توجه به ارزش بالای آلکالوئیدهای وین‌بلاستین و وین‌کریستین و اینکه تنها راه تهیه‌ی این داروها، استخراج از گیاه پروانش بوده، هرگونه افزایشی در مقدار این آلکالوئیدها می‌تواند از جنبه‌ی اقتصادی، ارزش زیادی داشته باشد (سپهری و همکاران، ۱۳۹۱). تولید این متابولیت‌های ثانویه به طور گسترده تحت تأثیر شرایط مختلف استرس زیستی و غیر زنده قرار می‌گیرد (Salem et al., 2022).

پیشینه پژوهش

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که تولیدات کشاورزی را با محدودیت روبرو ساخته و راندمان تولید را در مناطقی که با این پدیده مواجه هستند به شدت کاهش می‌دهد (Anijum et al., 2011). تغییر شرایط آب و هوایی در چند دهه اخیر منجر به کاهش میزان بارندگی و تغییر در توزیع آن در مناطق خشک و نیمه خشک شده است. بنابراین به نظر می‌رسد با توجه به تغییر

1 (Catharanthus roseus)

2 Apocynaceae

الگوهای بروز خشکی، تغییر در راهکارهای مناسب برای کاهش اختلاف عملکرد واقعی و پتانسیل گیاهان زراعی در این مناطق ضروری است (توانا و همکاران، ۱۴۰۰). تنش خشکی در گیاه پروانش باعث افزایش اسید آمینه، گلايسين بتائين و ظرفیت پرولين و فعالیت کل آلکالوئیدهای ایندول در برگ‌ها و ریشه‌ها شده و همچنین باعث کاهش پرولين اکسیداز می‌شود (Abdul jaleel et al., 2007). طبق تعریف هر کجا که از دست رفتن آب از طریق تعرق از تأمین آب در خاک بیشتر باشد، تنش آب رخ می‌دهد. تنش طولانی مدت بر تمام فرایندهای متابولیک اثر می‌گذارد و در نتیجه اغلب موجب کاهش تولید گیاه می‌شود (Dos reis et al., 2012). تنش‌هایی چون خشکی، دماهای پایین و بالا در هنگام جوانه زنی، سله بستن خاک، زمان کشت نامناسب، آماده نبودن کافی بستر بذر و غیره از جمله عواملی هستند که استقرار گیاهچه‌ها را در مزرعه با محدودیت مواجه می‌کنند (Farooq et al., 2008).

یکی از روش‌هایی که تحمل گیاه را افزایش می‌دهد، پیش‌ تیمار بذور است و مقاومت به خشکی حاصل و نتیجه تنوع خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی است (Bradford, 1995). در واقع پرایمینگ بذر از مهمترین راه‌های افزایش جوانه‌زنی و سبز شدن بذر در شرایط تنش است (Murungu et al., 2003). پرایمینگ بذر، بنیه بذر و استقرار گیاهچه‌ها را در مزرعه بهبود می‌بخشد (Mc Donald, 2000). پرایمینگ بذر باعث افزایش سبز شدن بذرها در دامنه‌ای از شرایط محیطی تنش‌زا، از قبیل تنش شوری، خشکی و دما می‌شود (Demir Kaya et al., 2006). در دهه گذشته تیمار گیاهان با تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه (PGRs) روشی موثر برای بهبود مقاومت گیاه و کاهش اثرات مخرب تنش بوده است (Sepehri et al., 2025). برای بررسی تأثیری که پرایمینگ بذر در اقلیم‌های گرم و نیمه خشک (نظیر بخش‌هایی از هند، زیمباوه، نیجریه، پاکستان، نپال و بنگلادش) می‌تواند داشته باشد، ۹۷ آزمایش بر روی ۲۳ محصول زراعی و علوفه‌ای انجام شد و فن پرایمینگ مزرعه‌ای در آن‌جا به عنوان روشی ساده و کاربردی که کشاورزان به آسانی بتوانند از آن استفاده کنند مورد تایید قرار گرفت. در مورد نخود پرایم کردن در مقایسه با پرایم نکردن ۹۷ درصد سود داشت (Musa et al., 2001).

در تولید گیاهان دارویی، علاوه بر شرایط آب و هوایی و عوامل خاک، نوع عناصر غذایی از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند، زیرا عناصر غذایی با تأثیری که بر رشد رویشی و زایشی گیاهان دارند، نسبت اندام‌های زایشی به رویشی را تغییر داده و از این طریق بر کیفیت و کمیت اسانس محصول مؤثر می‌باشند (Moradi et al., 2010). مصرف بی‌رویه و نامتعادل کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر سبب شده است توازن عناصر غذایی به ویژه کم مصرف، در خاک به هم خورده و منجر به کاهش جذب عناصر آهن، روی، مس و منگنز توسط گیاه گردد که با توجه به اهمیت این عناصر، در سلامتی انسان و دام نیز تأثیرگذار بوده است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۴). روی عنصر مهم در فعالیت آنزیم‌های حیاتی و تنظیم‌کننده‌های رشد است. کمبود روی به علت اثر نامطلوب بر بیوسنتز اکسین می‌تواند باعث کاهش ارتفاع ساقه و عملکرد گیاه شود. حلالیت کم این عناصر در pH آهکی، وجود بی‌کربنات در آب آبیاری و مصرف بالای فسفر، عمومیت دارد و در برخی از محصولات زراعی با توجه به مقدار نیاز گیاه، شرایط محیطی، متفاوت است (Marschner, 1995). منیزیم (Mg) یک عنصر ریز مغذی مهم است، که نقش حیاتی در ساختار فتوسنتز II داشته و الکترون‌های مورد نیاز را برای فعالیت فتوسنتزی فراهم می‌کند. همچنین در فعال کردن آنزیم‌های متابولیز کننده نیتروژن، RNA پلیمرز و آنزیم‌های بیوسنتز کننده اسیدهای چرب و اسید جیبرلیک نقش دارد (Sepehri et al., 2025).

روشن‌شناسی پژوهش

آزمایش

این آزمایش بصورت فاکتوریل، در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار، طی دو سال، که آزمایش اول در اوایل فروردین ماه سال ۱۳۹۹ و آزمایش دوم نیز در اوایل فروردین ۱۴۰۰ در منطقه شمیرانات تهران (اردوگاه شهید باهنر) به صورت گلدانی و در فضای باز انجام شد.

شرایط اقلیمی منطقه

اقلیم مدیترانه‌ای سرد، طول جغرافیایی ۵۷° ۲۷' ۴۵" شرقی، و عرض جغرافیایی ۳۵° ۴۸' ۴۶" شمالی، میانگین بارش سالانه ۴۳۶/۸ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۱۲/۹ درجه سانتی‌گراد و ارتفاع از سطح دریا ۱۸۰۰ متر می‌باشد.

گونه مورد مطالعه پروانش

گونه مورد مطالعه پروانش از نوع رزیوس گل صورتی (*Catharanthus roseus* (L.) G.DON) بوده که بذرهایی آن از پژوهشکده گیاهان



دارویی جهاد دانشگاهی تهیه گردیدند.

تیمارهای مورد استفاده و روش اعمال آنها

آزمایش مذکور به صورت سه عاملی که **عامل اول تنظیم کننده‌های رشد (A)** شامل چهار سطح شاهد (آب مقطر a_0) و هورمون‌های اکسین (a_1)، جیبرلین (a_2) و سایتوکینین (a_3) هر کدام به غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر، **عامل دوم محلول پاشی نانوذرات (B)** نیز شامل چهار سطح شاهد (b_0) بدون محلول پاشی، روی (b_1) با غلظت یک میلی گرم در لیتر، منیزیم (b_2) با غلظت ۰/۵ میلی گرم در لیتر و مخلوط روی و منیزیم (b_3) (روی با غلظت ۰/۵ میلی گرم در لیتر و منیزیم با غلظت ۰/۲۵ میلی گرم در لیتر)، و **عامل سوم تنش خشکی (C)** از طریق تشتک تبخیر در سه سطح مشتمل بر ۴۰ میلی متر (C_0)، ۶۰ میلی متر (C_1) و ۸۰ میلی متر (C_2).

پرایمینگ بذور

ابتدا بذرها به مدت ۲۴ ساعت در چهار سطح شاهد (آب مقطر a_0) و هورمون‌های اکسین (a_1)، جیبرلین (a_2) و سایتوکینین (a_3) به غلظت ۵۰ ppm و در داخل پتری دیش پرایم شدند. در این نوع از پرایمینگ بذر، توده بذری مورد نظر به واسطه قرار گرفتن در معرض هورمون و یا سایر مواد تنظیم کننده رشدی به منظور ارتقاء فعالیت‌های زیستی پیش از قرار گرفتن در بستر بذر تحت تیمار قرار گرفتند. در این روش نوع هورمون به کار رفته و غلظت آن نقشی حائز اهمیت در نتیجه حاصله بر عهده دارند، به طوری که انتخاب نوع هورمون و غلظت آن در مورد گونه‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد.

کاشت، داشت و برداشت

پس از پرایمینگ، ابتدا بذرها در مجاورت هوای آزاد قرار گرفتند تا کاملاً خشک شوند سپس در داخل جعبه‌های (سینی‌های) مخصوص کاشت که هر جعبه‌ی کاشت به ابعاد $31/5 * 53$ سانتی متر، تعداد ۱۰۴ حفره کاشت، قطر حفره‌ها $3/2$ سانتی متر و ارتفاع حفره‌ها ۵/۵ سانتی متر کشت گردیدند. خاک کاشت مخلوطی از کوکویت و پیت ماس به نسبت مساوی، و کشت به صورت غیر مستقیم صورت گرفت. به این معنی که در مرحله‌ی سه برگی، گیاهان از داخل جعبه کاشت به داخل گلدان منتقل شدند. جهت کشت گیاهان در داخل گلدان برای هر تکرار چهار گلدان در نظر گرفته شد و در داخل هر گلدان دو بوته کاشته شد و با توجه و در مجموع تعداد کل گلدان‌ها در هر سال ۵۷۶ عدد در نظر گرفته شد. ارتفاع گلدان‌ها ۴۰ سانتی متر، و قطر دهانه هر گلدان ۲۰ سانتی متر در گلدان صورت گرفت، ضمن اینکه گلدان‌ها و تشتک تبخیر در فضای باز قرار داده شدند.

محلول پاشی نانوذرات در چهار سطح شاهد (b_0) بدون محلول پاشی، نانو ذرات اکسید روی (ZnO NPs) (b_1) با غلظت یک میلی گرم در لیتر، نانو کود منیزیم تک عنصره (b_2) با غلظت ۰/۵ میلی گرم در لیتر و مخلوط روی و منیزیم (b_3) (روی با غلظت ۰/۵ میلی گرم در لیتر و منیزیم با غلظت ۰/۲۵ میلی گرم در لیتر) در طی دو مرحله در هر سال صورت گرفت. مرحله اول در مرحله چهار تا شش برگی و مرحله دوم قبل از گل دهی گیاهان صورت گرفت.

اعمال تنش خشکی نیز از طریق تشتک تبخیر در سه سطح مشتمل بر ۴۰ میلی متر (C_0)، ۶۰ میلی متر (C_1) و ۸۰ میلی متر (C_2) پس از استقرار گیاهان در گلدان آغاز و تا مرحله برداشت ادامه یافت. عملیات برداشت مربوط به سال اول اواسط مهر ماه ۱۳۹۹ و عملیات برداشت مربوط به سال دوم در اواسط مهر ۱۴۰۰ صورت گرفت.

اندازه‌گیری صفات

قبل و پس از برداشت ابتدا صفات بیولوژیک، سپس صفات بیوشیمیایی گیاه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در مرحله برداشت، گیاهان از سطح خاک و از ناحیه‌ی طوقه چیده شدند. پس از رشد کامل گیاهان، ارتفاع ساقه‌ها از محل خروج از خاک (طوقه) اندازه‌گیری گردید (محبوب خمایی، ۱۳۸۵). پس از اندازه‌گیری ارتفاع ساقه، تعداد شاخه‌های جانبی شمارش گردید. نحوه شمارش شاخه‌های جانبی بدین صورت بود که فقط شاخه‌های جانبی که دارای گل و کپسول بودند شمارش گردید و از شمارش شاخه‌های فاقد گل و کپسول و شاخه‌های فرعی تولید شده از شاخه‌های جانبی دیگر پرهیز گردید. اقدام مذکور نیز قبل از برداشت و از ضخیم‌ترین قسمت ساقه‌ی گیاه در بالای سطح خاک (طوقه) توسط کولیس صورت گرفت (سپهری و همکاران، ۱۳۹۱). با استفاده از ترازوی دیجیتالی وزن تر سرشاخه‌های دارای برگ‌های حاوی آلکالوئید اندازه‌گیری گردید. در زمان اوج گل‌دهی از برگ‌های جوان گیاه که دارای بیشترین میزان آلکالوئید بودند نمونه‌برداری شد. گزارشات نشان داده که برداشت گیاه در زمان تمام گل (full bloom) بیشترین میزان آلکالوئیدهای گیاه به خصوص آلکالوئیدهای وین‌بلاستین و وین‌کریستین را دارا می‌باشد (Lata, 2007). نمونه‌ها مدت یک هفته در دمای ۴۵ درجه سلسیوس در داخل

آون قرار داده شدند (زارع‌زاده و همکاران، ۱۳۷۹). سپس وزن خشک کل اندام هوایی توسط ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شد. وزن خشک دقیق زمانی حاصل می‌شود که با گذشت زمان، دیگر کاهش وزن در گیاه مشاهده نگردد (محبوب خمایی، ۱۳۸۵). جهت محاسبه‌ی RWC از تعداد ۵ برگ جوان و کاملاً رسیده و توسعه یافته و به طور تصادفی استفاده شد. بعد از جدا نمودن برگ‌ها از گیاه بلافاصله نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل، تمیز شده و سپس با ترازویی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم وزن شدند (وزن تر). سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت بر طبق نظر (ترنر ۱۹۸۱) در آب مقطر و در شرایط آزمایشگاهی و بدون نور قرار گرفته و دوباره توزین شدند (وزن اشباع). در نهایت برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و سپس توزین شدند (وزن خشک) و از رابطه‌ی ترنر مقدار آب نسبی برگ (RWC) محاسبه گردید (Gonzalez and Gonzalez-Vilar 2003).

$$RWC = (FW - DW / TW - DW) \times 100$$

محاسبات آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای آماری SAS (نسخه 9.1)، و به منظور بررسی یکنواختی واریانس داده‌های دو سال آزمایش از آزمون بارتلت استفاده شد. همچنین برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی استفاده و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام گرفت.

یافته‌های پژوهشی

نتایج تجزیه واریانس وزن تر و خشک کل اندام هوایی، تعداد شاخه‌های جانبی حاوی مواد مؤثره، ارتفاع گیاه دارویی پروانش در جدول ۱. آمده است. وزن تر و خشک کل اندام هوایی، تعداد شاخه‌های جانبی و قطر ساقه تحت تاثیر اثرات اصلی تنش خشکی، پرایمینگ بذر توسط تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، محلول‌پاشی نانوذرات روی و منیزیم در سطح معنی‌داری یک درصد نسبت به تیمار شاهد قرار گرفت. در بررسی اثرات متقابل پرایمینگ بذر توسط تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در سطوح مختلف تنش خشکی نیز بر روی وزن خشک کل اندام هوایی، تعداد شاخه‌های جانبی و قطر ساقه نیز اختلاف در سطح یک درصد نسبت به تیمار شاهد ایجاد شد ولی بر وزن تر کل اندام هوایی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در برهمکنش دوگانه محلول‌پاشی نانوذرات و تنش خشکی و نیز اثرات متقابل تنظیم‌کننده‌های رشد و محلول‌پاشی نانوذرات بر وزن خشک کل اندام هوایی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ایجاد شد. همچنین در اثرات برهمکنش سه گانه پرایمینگ تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و محلول‌پاشی نانوذرات تحت شرایط تنش خشکی بر وزن خشک کل اندام هوایی نیز تفاوت در سطح احتمال یک درصد نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد ولی در سایر موارد اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس وزن تر و خشک کل اندام هوایی، سرشاخه‌ها و ارتفاع گیاه پروانش تحت تاثیر سطوح تنش خشکی، هورمون‌های گیاهی و عناصر ریزمغذی

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک کل اندام هوایی	تعداد شاخه جانبی	قطر ساقه
تنش خشکی	۲	۱۳۰/۸۷ **	۲۴۲۶/۲ **	۱۵۸/۹ **	۳۲/۹ **
پرایمینگ بذر با هورمون‌های گیاهی	۳	۲۰/۵۴ **	۹۴۷/۶۴ **	۲۰۵/۶ **	۵۰/۴ **
عناصر ریزمغذی	۳	۵۵۱/۸ **	۴۶۰/۴ **	۱۰۸/۸ **	۳/۱۸ **
تنش خشکی × هورمون‌های گیاهی	۶	۱۲/۲ ns	۴۹/۲ **	۸/۳۸ **	۰/۳۵ **
تنش خشکی × عناصر ریزمغذی	۶	۲/۰۴ ns	۴۶/۱ *	۱/۵۶ ns	۰/۰۲۲ ns
هورمون‌های گیاهی × عناصر ریزمغذی	۹	۹/۵۹ ns	۳۳/۲ *	۱/۱۷ ns	۰/۰۵۵ ns
خشکی × هورمون‌های گیاهی × عناصر ریزمغذی	۱۸	۰/۹۷ ns	۳۴/۷ **	۰/۴۴ ns	۰/۰۰۹ ns
خطای آزمایشی	۹۶	۲۳/۶	۱۵/۹۴	۱/۰۲	۰/۰۴۷
درجه تغییرات (درصد)		۳/۵۵	۴/۷۵	۱۳/۲	۳/۷

* و ** به ترتیب نشانگر معنی‌دار بودن در سطح آماری ۱ و ۵ درصد و ns نشانگر عدم معنی‌داری.

همچنین نتایج آزمون بارتلت (جدول ۲) حاکی از آن بود که صفات در طی دو سال نتایج مشابهی را نشان دادند به همین دلیل میانگین دو سال نتایج هر صفت به صورت مرکب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با توجه به این که طرح مذکور در قالب طرح پایه‌ی کاملاً تصادفی بوده و طی دو سال صورت گرفت، لذا به منظور یکنواختی داده‌ها از آزمون بارتلت استفاده شده و نتایج آن در سطح معنی‌داری ۵ درصد در جدول ۲. آمده است.

جدول ۲. جدول نتایج آزمون بارتلت

ردیف	صفت	P≤0.05
۱	وزن تر اندام هوایی	۰/۲
۲	وزن خشک اندام هوایی	۰/۸۲
۳	شاخه جانبی	۰/۶۳
۴	محتوای آب نسبی برگ	۰/۸۹
۵	قطر ساقه	۰/۷۷
۶	ارتفاع ساقه	۰/۱۷

وزن تر اندام هوایی

وزن تر اندام هوایی، تحت تأثیر اثرات اصلی تنش خشکی، مصرف هورمون و عناصر ریزمغذی قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین وزن تر اندام هوایی در آبیاری مطلوب (۱۵۲/۶ گرم) به دست آمد و با اعمال تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب ۹ و ۲۱ درصد کاهش یافت (جدول ۳). همچنین مصرف اسید جیبرلین نسبت به سایر هورمون‌ها افزایش معنی‌داری در وزن تر اندام هوایی ایجاد کرد به طوری که وزن تر اندام هوایی در تیمار جیبرلین نسبت به دو هورمون اکسین و سایتوکینین شش درصد و نسبت به عدم مصرف هورمون ۱۲ درصد بیشتر بود. از طرفی، مصرف ریزمغذی‌ها منجر به افزایش وزن تر اندام هوایی شد به طوری که مصرف روی، منیزیم و مصرف همزمان دو عنصر منجر به افزایش شش، دو و چهار درصدی وزن تر اندام هوایی شد (جدول ۳).

در آزمایش دیگر بر روی گیاه دارویی پروانش (*Catharanthus roseus*) گزارش شد تنش خشکی باعث کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه نسبت به تیمار آبیاری مطلوب گردید (Salem et al., 2022). همچنین نگهبان و همکاران (۱۳۹۹) نیز اثر تنش خشکی بر روی صفات مرفولوژیکی مانند وزن تر و خشک اندام هوایی را بر روی پروانش (*Catharanthus roseus*) معنی‌دار گزارش کردند (نگهبان و همکاران، ۱۳۹۹).

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های وزن تر اندام هوایی تحت تأثیر تنش خشکی، هورمون‌های گیاهی و عناصر ریزمغذی

تیمار	وزن تر اندام هوایی
سطوح تنش خشکی	گرم در بوته
۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (آبیاری مطلوب)	۱۵۲/۶ a
۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (تنش ملایم خشکی)	۱۳۷/۲ b
۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (تنش شدید خشکی)	۱۱۹/۷ c
پرایمینگ بذر با هورمون‌های گیاهی	
عدم مصرف (شاهد)	۱۲۷/۴ c
اکسین (۵۰ ppm)	۱۳۷/۲ b
جیبرلین (۵۰ ppm)	۱۴۵/۹ a
سایتوکینین (۵۰ ppm)	۱۳۶/۲ b
محلول پاشی عناصر ریزمغذی	
شاهد	۱۳۲/۴ d
روی (۱ میلی‌گرم در لیتر)	۱۳۸/۰۳ b
منیزیم (۰/۵ میلی‌گرم در لیتر)	۱۳۴/۸ c
روی + منیزیم (به ترتیب ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر)	۱۴۱/۴ a

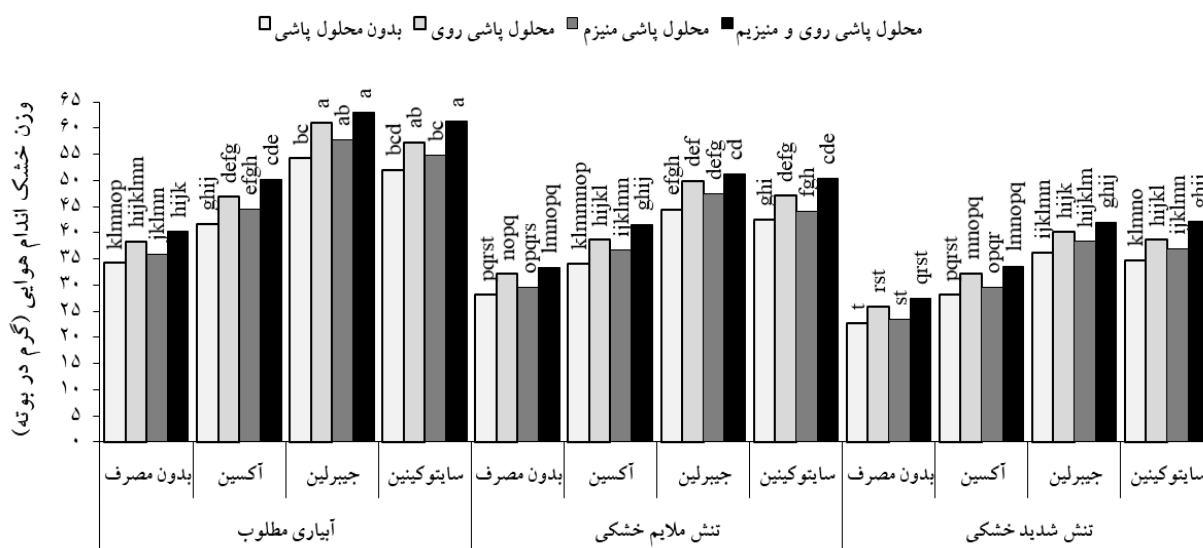
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.

وزن خشک اندام هوایی

وزن خشک اندام هوایی تحت تأثیر اثرات اصلی سطوح آبیاری، مصرف هورمون و عناصر ریز مغذی، برهمکنش دوگانه و سه گانه تیمارهای اعمال شده قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین وزن خشک اندام هوایی در شرایط مطلوب آبیاری و تحت تأثیر هورمون اسید جیبرلین و مصرف همزمان عناصر روی و منیزیم (۶۳ گرم در بوته) بدست آمد. اگرچه تیمارهای آبیاری مطلوب، مصرف اسید جیبرلین و عنصر روی (۶۱/۱ گرم در بوته) و همچنین تیمار آبیاری مطلوب، مصرف سایتوکینین همراه با مصرف همزمان عنصر روی و منیزیم (۶۱/۴ گرم در بوته) در

گروه آماری برتر قرار داشتند. در مجموع مصرف هورمون و عناصر ریزمغذی، تنش ملایم و شدید خشکی منجر به کاهش وزن خشک اندام هوایی شد. همچنین مصرف همزمان عناصر ریزمغذی در تمام سطوح آبیاری و هورمون منجر به افزایش وزن خشک اندام هوایی شد (شکل ۱). کاهش عملکرد در واحد سطح اندام‌های رویشی برگ و ساقه (به دلیل تنش خشکی، ناشی از کاهش تجمع ماده خشک و سرعت رشد گیاه در طی مراحل رویشی است (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2009). قرار گرفتن گیاه در معرض تنش خشکی سبب اختلال در جذب مواد مغذی، کاهش تثبیت کربن و سایر اثرات نامطلوب شده که می‌تواند موجب کاهش رشد و وزن خشک اندام هوایی گیاه گردد (Keshavarz Mirzamohammadi *et al.*, 2021b). محلول پاشی عناصر ریزمغذی با افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی، نقش مؤثر در فعالیت‌های سلولی با فعال شدن بیش از ۳۵ آنزیم مختلف در گیاه و همچنین افزایش فتوسنتز برگ، می‌تواند منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک گیاهان گردد (Imran and Ali Khan, 2017).

محلول پاشی مواد مختلف بر نخود فرنگی می‌تواند موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد آن شود. به طوری که گزارش شده کاربرد هورمون جیبرلیک اسید، موجب افزایش ارتفاع ساقه و تعداد و اندازه‌ی شاخه و برگ گیاه نخود فرنگی می‌شود و با تأثیر مثبت بر ویژگی‌های مرفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آن موجب افزایش عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه آن نسبت به شاهد می‌شود (Lal *et al.*, 2015). تیمار کردن گیاه با تنظیم‌کننده‌های رشد بر اندام وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه تأثیر معنی‌داری داشت. از نتایج بدست آمده این گونه می‌توان استدلال نمود که جیبرلین با کاهش غالبیت انتهایی، تعداد شاخه‌های جانبی را افزایش داده و در نتیجه عملکرد زیستی بیشتری بوجود آمده است (محمودی و همکاران ۱۳۸۶).



شکل ۱- مقایسه میانگین‌های وزن خشک اندام هوایی تحت تأثیر تنش خشکی × هورمون‌های گیاهی × عناصر ریزمغذی. میانگین‌های دارای یک حرف مشترک در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.

تعداد شاخه‌های جانبی حاوی مواد موثره

تعداد شاخه‌های جانبی تحت تأثیر اثرات اصلی سطوح آبیاری، مصرف هورمون و عناصر ریز مغذی و برهمکنش دوگانه آبیاری در محلول - پاشی هورمون بدست آمد (جدول ۱). اگرچه مصرف روی یا منیزیم به تنهایی منجر به افزایش ۳۴ و ۱۹ درصدی تعداد شاخه فرعی نسبت به عدم مصرف شد، اما بیشترین تعداد شاخه فرعی در تیمار مصرف همزمان روی و منیزیم با میانگین ۹/۵۴ عدد در بوته بدست آمد (جدول ۴). بیشترین تعداد شاخه فرعی در آبیاری مطلوب و تیمار عدم مصرف هورمون (۱۴/۰۴) به دست آمد (جدول ۵). با اعمال تنش خشکی و همچنین مصرف هورمون‌های گیاهی از تعداد شاخه‌های فرعی گیاه کاسته شد به طوری که کمترین تعداد شاخه فرعی در شرایط تنش شدید خشکی و مصرف هورمون اکسین (۴/۷) بدست آمد.

در تحقیق دیگری کاهش تعداد و طول شاخه‌های جانبی را با تشدید تنش خشکی در *Catharanthus roseus* گزارش کردند (Minaei *et al.*, 2019). شاخه‌دهی زیاد در شرایط خشکی یک صفت نامطلوب به حساب می‌آید، زیرا باعث مصرف بی‌بهره رطوبت خاک و

اتلاف آن می‌گردد. بنابراین محدود شدن شاخه‌دهی در شرایط خشکی توسط پروانش را می‌توان به عنوان یک سازوکار سازگاری گیاه تحت تنش خشکی در نظر گرفت (Farhangi abriz *et al.*, 2019). گزارش شده محلول‌پاشی سولفات روی از طریق افزایش اکسین و تنظیم آب گیاه باعث بهبود رشد رویشی، افزایش فتوسنتز و شاخه‌جانبی و افزایش اندام‌زایی در گیاه می‌گردد (Qaswar *et al.*, 2017). منیزیم در فرآیند فتوسنتز، سنتز کربوهیدرات‌ها و متابولیسم چربی‌ها نقش دارد. منیزیم همچنین یک عنصر ضروری در سنتز پروتئین‌ها به شمار می‌رود و اثرات این عنصر در افزایش تعداد شاخه‌جانبی در گیاهان، مربوط به نقش این عنصر در فعالیت آنزیم‌ها است. با توجه به مطالب عنوان شده وجود این عناصر ریزمغذی می‌تواند تعداد گل را تحت تأثیر قرار دهد.

محلول‌پاشی گیاه پروانش با تنظیم‌کننده‌های رشد بر تعداد شاخه‌فرعی و گل تأثیر معنی‌داری گذاشت. بیشترین تعداد گل از محلول-پاشی با جیبرلین بدست آمد. جیبرلین با کاهش غالبیت انتهایی تعداد گل بیشتری را به‌وجود می‌آورد (محمودی و همکاران ۱۳۸۶).

قطر ساقه

قطر ساقه نیز تحت تأثیر اثرات اصلی سطوح آبیاری، مصرف هورمون و عناصر ریز مغذی و برهمکنش دوگانه آبیاری در محلول‌پاشی هورمون بدست آمد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین حاکی از آن بود که کاربرد همزمان روی و منیزیم (۶/۲۲ میلی‌متر) بیشترین قطر ساقه را در اختیار داشت که نسبت به عدم مصرف افزایشی ۱۰ درصدی را شاهد بودیم (جدول ۴). نتایج برهم‌کنش سطوح آبیاری و مصرف هورمون نشان داد که بیشترین قطر ساقه در آبیاری مطلوب و تیمار عدم مصرف هورمون (۸/۷۲ میلی‌متر) بدست آمد. در واقع مصرف هورمون اکسین، جیبرلین و سایتوکینین باعث کاهش ۳۵، ۳۱ و ۲۲ درصدی قطر ساقه شد. در تمام سطوح آبیاری، کمترین قطر ساقه در تیمار مصرف هورمون اکسین بدست آمد به طوریکه کمترین قطر ساقه در تنش شدید خشکی و تیمار اکسین (۴/۳۲ میلی‌متر) بدست آمد (جدول ۵).

اثر مصرف عناصر غذایی اعمال شده بر قطر ساقه کلزا نشان داد ترکیب روی و منیزیم بیشترین و تیمار شاهد کمترین قطر ساقه را داشتند. کاهش آب مصرفی می‌تواند با کاهش آب سلولی، رشد عرضی و طولی ساقه، عدم جذب مواد فتوسنتزی موجب کاهش قطر ساقه گردد، با این حال عناصر غذایی می‌تواند با افزایش میزان تحمل و مقاومت گیاه به تنش‌های خشکی موجب بهبود عملکرد این صفت گردد. نتایج بررسی‌ها در سایر گیاهان همچون ذرت دانه‌ای نیز نشان داد که محلول‌پاشی روی باعث افزایش قطر ساقه می‌شود. بهبود شرایط تغذیه‌ای و نقش مثبت روی در فتوسنتز و فتوسیستم‌های نوری می‌تواند در افزایش شاخص‌های رشد از قبیل قطر ساقه مؤثر باشد (Chen *et al.*, 2012). در شرایط آبیاری کامل مصرف هورمون‌های گیاهی باعث کاهش قطر ساقه نسبت به شاهد در لوبیای سفید گردید اما در بین هورمون‌های مورد استفاده، نقش سایتوکینین در افزایش قطر ساقه بیشتر بود. این روند در شرایط تنش کم‌آبی نیز اتفاق افتاد با این تفاوت که در شرایط تنش خشکی با توجه به افزایش مقاومت روزنه‌ای، کاهش فتوسنتز و همچنین اختلال در فرایندهای سلولی، قطر ساقه به نسبت کمتر بود (Keshavarz *et al.*, 2021). به‌نظر می‌رسد هورمون‌های گیاهی با نقش مثبتی که در افزایش ارتفاع داشتند باعث کاهش قطر ساقه شده‌اند. سایر محققین نیز همبستگی منفی بین ارتفاع بوته و قطر ساقه را گزارش کرده‌اند (Rajabi *et al.*, 2013).

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های قطر ساقه و تعداد شاخه‌فرعی تحت تأثیر اثرات اصلی عناصر ریزمغذی

عناصر ریزمغذی	قطر ساقه (میلی‌متر)	تعداد شاخه‌فرعی (تعداد شاخه در بوته)
شاهد	۵/۵۵ d	۵/۶۱ d
روی (۱ میلی‌گرم در لیتر)	۵/۹۶ b	۸/۵۵ b
منیزیم (۰/۵ میلی‌گرم در لیتر)	۵/۶۹ c	۶/۹۳ c
روی + منیزیم (به ترتیب ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر)	۶/۲۲ a	۹/۵۴ a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های قطر ساقه و تعداد شاخه‌فرعی پروانش تحت تأثیر تنش خشکی × هورمون‌های گیاهی

تیمار	قطر ساقه (میلی‌متر)	تعداد شاخه‌فرعی (تعداد شاخه در بوته)
عدم مصرف (شاهد)	۸/۷۲ a	۱۴/۰۴ a
اکسین (۵۰ ppm)	۵/۶۱ e	۶/۳۷ e
جیبرلین (۵۰ ppm)	۶/۰۲ d	۸/۲۹ cd
سایتوکینین (۵۰ ppm)	۶/۷۹ c	۱۰/۰۸ b

۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر
(آبیاری مطلوب)

۱۰/۰۱ b	۷/۱۷ b	عدم مصرف (شاهد)	۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (تنش ملایم خشکی)
۴/۶۶ g	۴/۶۳ h	اکسین (۵۰ ppm)	
۶/۱۲ ef	۴/۹۶ g	جیبرلین (۵۰ ppm)	
۷/۵۴ d	۵/۶ e	سایتوکینین (۵۰ ppm)	
۸/۴۵ c	۶/۶۶ c	عدم مصرف (شاهد)	۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (تنش شدید خشکی)
۴/۷ g	۴/۳۲ i	اکسین (۵۰ ppm)	
۵/۳۳ fg	۴/۶ h	جیبرلین (۵۰ ppm)	
۶/۲۹ e	۵/۲ f	سایتوکینین (۵۰ ppm)	

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.

نتایج تجزیه واریانس محتوای رطوبت نسبی (RWC) و ارتفاع گیاه تحت تاثیر تنش خشکی، تنظیم‌کننده‌های رشد و محلول‌پاشی نانوذرات در جدول ۶ آمده است. محتوای آب نسبی برگ و ارتفاع بوته تحت تاثیر اثرات اصلی سطوح مختلف تنش خشکی، پرایمینگ بذر توسط تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و محلول‌پاشی نانوذرات روی و منیزیم با اختلاف آماری در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. همچنین در بررسی اثرات متقابل دوگانه پرایمینگ بذر توسط تنظیم‌کننده‌های رشد و تنش خشکی، و اثرات متقابل دوگانه تنظیم‌کننده‌های رشد و محلول‌پاشی نانوذرات، و نیز محلول‌پاشی نانوذرات تحت سطوح تنش خشکی بر محتوای آب نسبی برگ تفاوت در سطح احتمال یک درصد نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. ضمن اینکه در بررسی برهمکنش سه گانه تنش خشکی، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و محلول‌پاشی نانوذرات تفاوت آماری معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ایجاد شد. اما در انواع اثرات متقابل تیمارهای مذکور بر روی ارتفاع بوته، هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد مشاهده نشد.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس قطر ساقه، محتوای آب نسبی و ارتفاع بوته پروانش تحت تأثیر سطوح تنش خشکی، هورمون‌های گیاهی و عناصر

ریزمغذی

ارتفاع بوته	محتوای آب نسبی	درجه آزادی	منابع تغییر
۵۳۰۹/۳ **	۹۹۵/۷ **	۲	آبیاری
۲۰۵۵/۴ **	۱۸۶/۳ **	۳	پرایمینگ بذر با هورمون‌های گیاهی
۴۱۱/۴ **	۵۲/۱۲ **	۳	محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی
۲۶/۶ ns	۵/۹۷ **	۶	تنش خشکی × هورمون‌های گیاهی
۴/۷۳ ns	۸/۵۳ **	۶	تنش خشکی × عناصر ریزمغذی
۱۰/۷ ns	۱۰/۵ **	۹	هورمون‌های گیاهی × عناصر ریزمغذی
۱/۷ ns	۷/۶ **	۱۸	خشکی × هورمون‌های گیاهی × عناصر ریزمغذی
۱۵/۵	۰/۲۲	۹۶	خطای آزمایشی
۶/۱۶	۰/۶۵		درجه تغییرات (درصد)

* و ** به ترتیب نشانگر معنی‌دار بودن در سطح آماری ۱ و ۵ درصد و ns نشانگر عدم معنی‌داری.

محتوای آب نسبی برگ

محتوای آب نسبی برگ تحت تأثیر اثرات اصلی تیمار آبیاری، مصرف هورمون و برهم‌کنش دوگانه و سه گانه تیمارهای اعمال شده قرار گرفت (جدول ۶). در مجموع سطوح آبیاری و عناصر ریز مغذی، مصرف هورمون اکسین نسبت به سایر هورمون‌ها، تأثیر بیشتری بر محتوای آب نسبی برگ داشت (شکل ۲). در این بین نیز مصرف عناصر ریزمغذی روی و منیزیم تأثیر مثبتی بر محتوای آب نسبی برگ داشتند بطوری که بیشترین محتوای رطوبت نسبی برگ در تیمار تنش شدید خشکی و مصرف اکسین همراه با مصرف همزمان روی و منیزیم (۵۱ درصد) بدست آمد (شکل ۲).

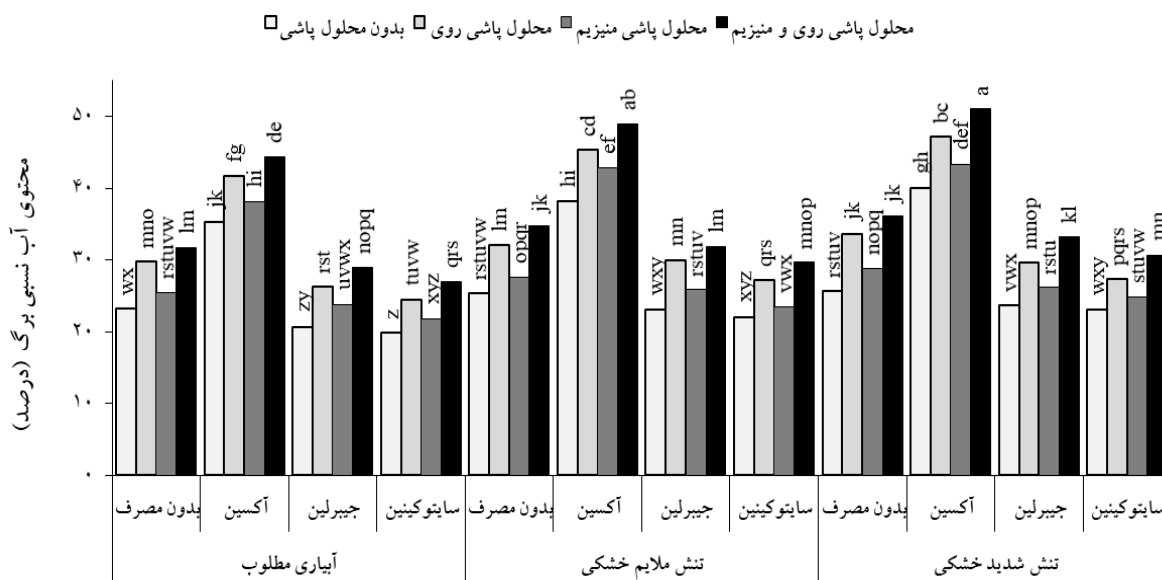
تنش خشکی به طور قابل توجهی محتوای نسبی آب را کاهش می‌دهد. این کاهش می‌تواند به دلیل افزایش نفوذپذیری غشا و کاهش جذب آب باشد (Abdi and Karami, 2020).

محلول‌پاشی روی و منیزیم با افزایش تحمل گیاه نسبت به تنش‌های محیطی می‌تواند موجب افزایش محتوای آب نسبی برگ گردد. بسته شدن روزنه‌ها از یکی از پاسخ‌های اولیه به تنش خشکی می‌باشد. تنظیم روزنه‌ها از اتلاف زیاد آب از طریق تعرق جلوگیری می‌کند،

از این طریق محتوای نسبی آب گیاه یکی از صفات مهم در رابطه با وضعیت آب در خاک می‌باشد. افزایش تنش خشکی با کاهش مقدار آب قابل دسترس و جذب‌شده، موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود.

جمشیدی زیناب و همکاران (۱۳۹۴) نیز گزارش کردند که محتوای نسبی آب برگ در اثر اعمال تنش خشکی بر ارقام کلزا معنی‌دار بود. گیاهانی که در شرایط تنش آبی کمترین کاهش را در محتوای نسبی آب برگ داشت، توانایی بیشتری در تنظیم اسمزی تحت تنش داشت (پاسبان اسلام و همکاران، ۱۳۹۴).

به طور کلی، گیاهان تیمار شده با اکسین از طول ریشه و محوی نسبی آب بیشتری برخوردار بودند. در این راستا در گندم، نشان دادند که تیمار پرایمینگ با اکسین سبب افزایش معنی‌دار طول ریشه در گیاهچه‌های تیمار شده در شرایط خشکی می‌شود که در نتیجه حجم بیشتر ریشه، دسترسی به آب را افزایش داده و موجب افزایش محتوای آب نسبی گیاه می‌گردد. (Asghari et al., 2019). در آزمایش دیگر بر روی گیاه دارویی پروانش (*Catharanthus roseus*) گزارش شد تنش خشکی باعث کاهش محتوای آب نسبی برگ نسبت به تیمار آبیاری مطلوب گردید اما در گیاهان محلول‌پاشی شده توسط نانوذرات روی، منیزیم و سالیسیلیک اسید تحت تنش خشکی، محتوای آب نسبی برگ‌ها افزایش یافت (Salem et al., 2022).



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های محتوای آب نسبی برگ گیاه تحت تأثیر تنش خشکی × هورمون‌های گیاهی × عناصر ریزمغذی. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته‌ها تحت تأثیر اثرات اصلی سطوح آبیاری، مصرف هورمون و عناصر ریزمغذی قرار گرفت (جدول ۶). ارتفاع گیاه تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت به طوریکه ارتفاع گیاه در تنش ملایم (۶۶/۱ سانتیمتر) و شدید خشکی (۵۲/۵ سانتیمتر) به ترتیب ۹ و ۲۸ درصد کمتر از ارتفاع گیاه در شرایط آبیاری مطلوب (۷۳/۲ سانتیمتر) بود (جدول ۷). مصرف جیبرلین نسبت به سایر هورمون‌های گیاهی، تأثیر بیشتری بر ارتفاع بوته گذاشت به نحویکه نسبت به تیمار عدم مصرف هورمون، مصرف هورمون اکسین و سایتوکینین افزایشی ۲۴، ۴ و ۱۳ درصدی داشت (جدول ۶). اگرچه بین مصرف روی یا منیزیم تفاوت معنی‌داری در ارتفاع گیاه مشاهده نشد اما مصرف همزمان روی و منیزیم باعث افزایش چشمگیر ارتفاع گیاه شد به طوری که نسبت به عدم مصرف، مصرف روی یا منیزیم به ترتیب ۱۱، ۵ و ۸ درصد ارتفاع بیشتری بدست آمد.

در آزمایش دیگر بر روی پروانش (*Catharanthus roseus*) اثر تنش خشکی بر روی ارتفاع ساقه معنی‌دار گزارش شده است (نگهبان و همکاران، ۱۳۹۹). کاهش ارتفاع گیاه در اثر اعمال تنش خشکی را می‌توان به اختلال در فتوسنتز به واسطه کم‌آبی، کاهش تولید مواد فتوسنتزی برای ارائه به بخش‌های در حال رشد گیاه و کاهش انعطاف‌پذیری دیواره سلول‌های ساقه نسبت داد که در نتیجه طولی شدن سلول‌ها متوقف می‌شود (Candan et al., 2018). در شرایط استرس PGRها می‌توانند تا حدی باعث حفظ فعالیت سنتز کلروفیل و فتوسنتز

در زمانی که گیاهان تحت تنش هستند شوند، بنابراین بهبود جذب غذا، کمک به تقسیم سلول، و افزایش محتوای کلروفیل کل همچنین افزایش ارتفاع بوته همراه با تولید برگ‌ها و ساقه‌های بیشتر و در نتیجه تولید ماده خشک بیشتر که منجر به افزایش وزن تر و خشک گیاه می‌شود (Sepehri et al., 2025).

در شرایط آبیاری کامل محلول‌پاشی عناصر غذایی باعث بهبود ارتفاع بوته نسبت به شاهد گردید، با این حال در شرایط تنش خشکی با توجه به افزایش مقاومت روزه‌ای، کاهش فتوسنتز و همچنین اختلال در فرایندهای سلولی، محلول‌پاشی عناصر غذایی تفاوت معنی‌داری در بهبود صفت ارتفاع بوته ایجاد نکرد (Keshavarz et al., 2021). وجود روی در مناطق مریستمی، به علت نقش آن در غیر فعال کردن هورمون اکسین، باعث رشد رویشی (افزایش ارتفاع)، افزایش شاخه بندی و فتوسنتز بیشتر می‌شود (Ghorbani et al., 2019).

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های ارتفاع گیاه پروانش تحت تأثیر اثرات اصلی تنش خشکی، هورمون‌های گیاهی و عناصر ریزمغذی

ارتفاع بوته	تیمار
(سانتی‌متر)	سطوح آبیاری
۷۳/۲ a	۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (آبیاری مطلوب)
۶۶/۱ b	۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (تنش ملایم خشکی)
۵۲/۵ c	۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (تنش شدید خشکی)
هورمون‌های گیاهی	
۵۴/۲ d	عدم مصرف (شاهد)
۶۸/۳ b	اکسین (۵۰ ppm)
۷۱/۳ a	جیبرلین (۵۰ ppm)
۶۱/۹ c	سایتوکینین (۵۰ ppm)
عناصر ریزمغذی	
۶۰/۳ c	شاهد
۶۴/۴ b	روی (۱ میلی‌گرم در لیتر)
۶۲/۶ b	منیزیم (۰/۵ میلی‌گرم در لیتر)
۶۸/۳ a	روی + منیزیم (به ترتیب ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر)

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مصرف کودهای ریز مغذی به صورت نانو باعث افزایش میزان تجمع ماده خشک و ترکیبات ثانویه شد اگرچه تأثیر منیزیم تا حدودی بیشتر از روی بود. همچنین سایر شاخص‌های رشد مانند وزن تر اندام هوایی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی و قطر ساقه با کاربرد روی و منیزیم در مقایسه با شاهد از مقادیر بالاتری برخوردار بود. کاربرد منیزیم میزان کلروفیل، رطوبت نسبی برگ و شاخص‌های فتوسنتزی را افزایش داد که این افزایش به ویژه در شرایط تنش خشکی می‌تواند موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه شود.

در میان تنظیم‌کننده‌های رشد بیشترین تأثیر در هر سه سطح تنش مربوط به تیمار جیبرلین با ترکیب روی و منیزیم و پس از آن هورمون سایتوکینین همراه با ترکیب روی و منیزیم بود. مصرف هورمون جیبرلین باعث افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی و شاخساره‌ها در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی بود که نشان از نقش مثبت و تأثیر گذاری بالای این هورمون است که در نتیجه به عنوان مناسب‌ترین تنظیم‌کننده رشد گیاه (در بین سه هورمون استفاده شده) در واکنش به این صفات در این آزمایش توصیه می‌شود که احتمالاً به علت افزایش شاخص‌های فتوسنتزی و تثبیت دی اکسید کربن می‌شود.

با توجه به آکالوئیدهای ارزشمند موجود در گیاه دارویی پروانش و پرکاربرد بودن این آکالوئیدها در شیمی درمانی انواع سرطان‌ها، لازم است در مورد این گیاه مورد مطالعات بیشتری صورت گرفته و جهت کاهش هزینه واردات مواد موثره فناوری شده این گیاه، سطح زیر کشت آن را در کشور بالا برد که لازمه آن، شناخت بیشتر محققین و زارعین نسبت به گیاه مذکور می‌باشد.

پیشنهاد می‌گردد تأثیر ترکیبی هورمون‌ها به صورت مخلوط جیبرلین و اکسین، جیبرلین و سایتوکینین و سایر هورمون‌ها تحت شرایط تنش‌های خشکی و شوری (با توجه به شرایط اقلیمی کشورمان) مورد بررسی قرار گیرد. ضمن این که کاربرد سایر نانوکودها و عناصر ریز



مغذی به صورت جداگانه و یا مخلوط با سایر هورمون‌ها می‌تواند دستاوردهای مفیدی داشته باشد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- امیدبیگی، رضا (۱۳۸۸). تولید و فرآوری گیاهان دارویی. مشهد: انتشارات آستان قدس رضوی.
- توانا، نعمت محمد؛ جلالی هنرمند. سعید؛ قبادی، محمد اقبال و رسایی، علی (۱۴۰۰). اثرات کاربرد هورمون‌های گیاهی بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیک نخود فرنگی تحت آبیاری تکمیلی. دو فصلنامه علمی- پژوهشی علوم سبزی‌ها. ۵ (۹)، ۲۱۳-۱۹۷.
- جمشیدی زیناب، احد؛ حسنلو، طاهره و ناجی، امیر محمد. (۱۳۹۴). ارزیابی تحمل به خشکی چهار رقم کلزا (*Brassica napus* L.) بر اساس خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی. نشریه پژوهش‌های زراعی/ایران، ۱۳ (۳)، ۵۹۷-۵۸۳.
- زارع‌زاده، عباس؛ خلدیرین، بهمن. مرادشاهی، علی. باباخانلو، پرویز. رجایی، هما. (۱۳۷۶). تغییرات مقدار کل آلکالوئیدهای گیاه دارویی عروسک پشت پرده (*Physalis alkekengi*) در واکنش به مقادیر مختلف کود ازته. نشریه پژوهش و سازندگی. (۳۷)، ۵۴-۵۹.
- سپهری، بابک (۱۳۹۲). بررسی اثرات بررسی انواع بستر کاشت و دو گونه قارچ میکوریزا بر رشد، عملکرد و محتوای آلکالوئیدهای گیاه دارویی پروانش (*Catharanthus roseus* (L.) G. DON). پایان‌نامه کارشناسی/رشد. به راهنمایی حمید رضا دورودیان. تهران: دانشگاه آزاد واحد ورامین (پیشوا)، دانشکده کشاورزی.
- سیل‌سپور، محسن. (۱۳۸۶). بررسی اثرات مصرف عناصر آهن و روی در خصوصیات کمی و کیفی گندم آبی و تعیین حد بحرانی آن‌ها در خاک‌های دشت ورامین. مجله پژوهش و سازندگی. (76)، ۱۳۳-۱۲۱.
- محبوب خمایی، ع. ۱۳۸۵. اثر کود نیتروژن و کاربرد کمپوست بر شاخص‌های رشد آزالیا. نشریه‌ی نهال و بذر. ۱ (۲۲)، ۱۴۰-۱۲۹.
- محمودی، راحله؛ پرویزی، خسرو و اکبری، ناصر. (۱۳۸۶). تاثیر اسید جیبرلیک بر میزان تولید غده‌های بذری و عملکرد کل در سیب‌زمینی. پژوهش کشاورزی. آب، خاک و گیاه در کشاورزی، ۳ (۷)، ۵۳-۳۹.
- ملکوتی، محمد جعفر؛ ملکوتی، امین؛ بایوردی. عیسی و خامسی. عزت اله. (۱۳۸۴). روی عنصری فراموش شده در چرخه حیات گیاه، دام و انسان. شورای عالی سیاست‌گذاری توسعه کاربرد مواد بیولوژیک و استفاده بهینه از کود و سم در کشاورزی. نشریه فنی شماره ۴۷۵.
- نگهبان، وحیده؛ کریمیان، علی اکبر و فیاض، ف. ۱۳۹۹. همزیستی قارچ میکوریزا بر گیاه دارویی پروانش (*Catharanthus roseus*) تحت تاثیر تنش خشکی. مجله زیست فناوری گیاهان دارویی. ۱ (۶)، ۲۵-۱۴.

REFERENCES

- Abdi, G. and Karami, L. (2020). Salicylic acid effects on some physiochemical properties and secondary metabolite accumulation in *Mentha piperita* L. under water deficit stress. *Adv. Hortic. Sci.* 34, 81–91.
- Abdul Jaleel, C., Gopi, R., Manivannan, P., Gomathina jagam, M., Murali, P.V., & Panneerselvam, R. (2007). Soil applied propiconazole alleviates the impact of salinity on *Catharanthus roseus* by improving antioxidant status. *Pesticide & Physio.* 90, 135–139.
- Anjum, S.A., Wang, L.C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L.L., Zou, C.M. (2011). Brassinolide Application Improves the Drought Tolerance in Maize Through Modulation of Enzymatic Antioxidants and Leaf Gas Exchange. *Journal Agronomy Crop Science*, 197, 177–185.
- Asghari, H. R. (2019). Effect of Drought Stress and Delay Cultivation on Grain Yield of Wheat. *Journal of agriculture science and sustainable production* 29(2), 135-151.
- Bradford, K. J. (1995). In seed development and germination. Ed. by Kigel and Gad Galili, Inc. Water relations in seed germination. Chapter 13, 351-395.
- Candan, N., Cakmak, I. & Ozturk, L. (2018). Zinc-biofortified seeds improved seedling growth under zinc deficiency and drought stress in durum wheat. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 181(3), 388-395.
- Chen, J. H., Jiang, H. W., Hsieh, E. J., Chen, H. Y., Chien, C. T., Hsieh, H. L., & Lin, T. P. (2012). Drought and salt stress tolerance of an *Arabidopsis* glutathione S-transferase U17 knockout mutant are attributed to the combined effect of glutathione and abscisic acid. *Plant Physiology*, 158(1), 340-351.
- Dos Reis, S.P., Lima, A.M., De Souza, C.R.B. (2012). Recent molecular advances on downstream plant responses to abiotic stress. *Int. J. Mol. Sci*, 13, 8628–8647
- Farooq, M., Basra, S. M. A., Rehman, H & Saleem, B. A. (2008). Seed priming enhances the performance of late sown wheat (*Triticum aestivum* L.) by improving chilling. *Journal. Agronomy Crop Science*, 194,

55-60.

- Farhangi-Abri, S., Alaee, T., & Tavasolee, A. (2019). Salicylic acid but not jasmonic acid improved canola root response to salinity stress. *Rhizosphere*, 9, 69-71.
- Farouk, S., AL-Huqail, A.A., & El-Gamal, S.M.A. (2022). Improvement of phytopharmaceutical and alkaloid production in periwinkle plants by endophyte and abiotic elicitors. *Horticulturae* 8(3), 237.
- Ghassemi-Golezani, K., Ghanehpour, S. & Dabbagh Mohammadi-Nasab, A. (2009). Effects of water limitation on growth and grain filling of faba bean cultivars. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 7(3), 442-447.
- Ghorbani, P., Eshghi, S., Ershadi, A., Shekafandeh, A., & Razzaghi, F. (2019). The Possible Role of Foliar Application of Manganese Sulfate on Mitigating Adverse Effects of Water Stress in Grapevine. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(13), 1550-1562.
- Gonzalez, L., & Gonzalez-Vilar, M. (2003). *Plant Ecophysiology Techniques*. Kluwer Academic Publication, London
- Imran, Ali., & Khana, A. (2017). Canola Yield and Quality Enhanced with Sulphur Fertilization. *Russian Agricultural Sciences*, 43(2), 113-119.
- Jamshidi zinab, A., Hasanloo, T., & Naji, A.M. (2015). Evaluation of drought tolerance of four cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.) based on physiological and biochemical characteristics. *Scientific-Research Journal of Agricultural Researches of Iran*, 13(3), 583-597. (In Persian).
- Keshavarz H., Khodabin G. (2019). The role of uniconazole in improving physiological and biochemical attributes of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) subjected to drought stress. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 22(2), 161-168.
- Keshavarz Mirzamohammadi, H., Tohidi-Moghadam, H. R., & Hosseini, S. J. (2021b). Is there any relationship between agronomic traits, soil properties and essential oil profile of peppermint (*Mentha piperita* L.) treated by fertiliser treatments and irrigation regimes. *Annual Applied Biology*, 179(3), 331-344.
- Lal, S., Azmi, N., Pushpwan, P. S. & Farooq Shah, A. (2015). Promotory Effects of Some Phytohormone on the Stem Growth Patterns of *Pisum sativum* (Pea) over the Control, *International Journal of Life Sciences*, 4(2), 90-95.
- Lata, B. (2007). Cultivation, mineral nutrition and seed production of *Catharanthus roseus* (L.) G. Don in the temperate climate zone. *Phytochem Rev.* 6, 403 – 41.
- Mahbob Khommami, E. (2006) The effect of nitrogen fertilizer and compost application on the growth parameters of azaleas. *Seed and Plant press*. 22(1):129-140. (In Persian).
- Mahmoodi, R., Parvizi, k., & Akbari. N. (2007). Evaluation The effect of Gibberellic acid (GA3) on seed tuber production and total Yield of Potato. *Agricultural research. Water, soil, plants in agriculture* 3(7), 39-53. (In Persian).
- Malakooti, M.J., Malakooti, A., Baybordi, E., & Khamesi, E. (2005). Zinc is a forgotten element in the life cycle of plants, animals and humans. High policy making council for the development of the use of biological materials and optimal use of fertilizers and poisons in agriculture. *Technical journal*, 475. (In Persian).
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2nd Edition. Academic Press, London.
- Mc Donald, M.B. (2000). Seed Priming. In: Black, M. and J. D. Bewley (Eds.), *Seed Technology and its Biological Basis*. Sheffield Academic Press, Sheffield, UK. pp: 287-325.
- Mekky, H., Al-Sabahi, J., & Abdel-Kreem, M.F.M. (2018). Potentiating biosynthesis of the anticancer alkaloids vincristine and vinblastine in callus cultures of (*Catharanthus roseus*). *South African Journal of Botany*, 29-31.
- Minaei, A., Hassani, A., Nazemiyeh, H. & Besharat, S. (2019). Effect of drought stress on some morphophysiological and phytochemical characteristics of oregano (*Origanum vulgare* L. ssp. *gracile*). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 35(2), 252-265
- Moradi-Ghahderijani, M., Jafarian, S., Keshavarz, H. (2017). Alleviation of water stress effects and improved oil yield in sunflower by application of soil and foliar amendments. *Rhizosphere*, 4, 54-61.
- Murungu, F.S., Nyamugafata, P., Chiduzza, C., Clark, L.J., & Whalley, W. R. (2003). Effects of seed priming aggregate size and soil matric potential on emergence of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and maize (*zea mays* L.). *Soil and Till. Res.* 74, 161-168.
- Musa, A. M., Johansen, J., & Kumar, J. (2001). Short duration chickpea to replace fallow after Aman Rice: the role of on-farm seed priming in the high Briand Tract of Bangladesh. *Experimental Agric*, 37, 509-521.



- Negahban, V., Karimian, A.A., & Fayaz, F. (2020). The coexistence of mycorrhizal fungus on the (*Cathranthus roseus*) medicinal plant under the influence of drought stress. *Journal of Medicinal Plants Biotechnology*, 1(6), 14-25. (In Persian).
- Nejat, N., Valdiani, A., Cahill, D., Tan, Y.H., Maziah, M., & Abiri, R., (2015). Ornamental exterior versus therapeutic interior of Madagascar periwinkle (*Catharanthus roseus*): the two faces of a versatile herb. *The Scientific World Journal*, 2015, 1-19.
- Omidbeigi, R. (2009). Production and processing of herbs. Mashhad: Qods Razavi Press. (In Persian).
- Qaswar, M., Hussain, S., & Rengel, Z. (2017). Zinc fertilisation increases grain zinc and reduces grain lead and cadmium concentrations more in zinc-biofortified than standard wheat cultivar. *Sci. Total Environ*, 605, 454-460.
- Rajabi, M., Fetri, M., Ghobadi, M. E., Faraji, M. H. & Asadian, G. H. (2013). Foliar application of Zn and Mn fertilizers on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *International Journal of Agriculture Crop Science*, 5, 718-822.
- Salem, D., El-Garhy, H.A.S., Ismail, A.I., Dessoky., E.S., Samra, B.N., & Shoala, T. (2022). Nanobiotechnological Approaches to Enhance Drought Tolerance in *Catharanthus roseus* Plants Using Salicylic Acid in Bulk and Nanoform. *Journal of Molecules*, 27, 1-16.
- Sepehri, B., Tohidi moghaddam, H.R., Ghooshchi, F., Oveysi, M., Kasraei, P. (2025). Evaluation of Metallic Nanoparticles and Plant Growth Regulators Affecting (*Catharanthus roseus* L.) Performance under Water-Deficit Stress. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, Vol. 12(3), 293-308.
- Seilsepour, M. 2006. The study of fe and zn effects on quantitative and qualitative parameters of winter wheat and determination of critical levels of these elements in Varamin plain soils. *Pajouhesh & Sazandegi* No 76, 123-133. (In Persian).
- Twana, N.M., Jalali-Honarmand, S., Ghobadi M.E., & Rasaei, A. (2021). of Exogenous Application of Plant Hormones on Yield and Physiological Characteristics of Pea under Supplemental Irrigation. *Journal of Vegetables sciences*, 5(9), 197-213. (In Persian).
- Zarezadeh, A., Kholdebarin, B., Moradshahi, A., Babakhanlou, P., Rajaei, H. (2001). Changes in total alkaloid substances in *Physalis alkekengi* in response to nitrogenous fertilizer. *Academic member of Research Institute of Forests and Rangelands, Medicinal Plants Department*, (37), 54-59. (In Persian).